

ния объемной деформации достигаются в почве с большей свободной пористостью.

**Ключевые слова:** математическая модель, просадочный грунт, проникновение щебня, цилиндрический заряд

A mathematical model of gravel penetration into soil massif under dynamic impact of explosion of a cylindrical explosive charge is considered. It allows to describe the stress-strain state of soil and gravel particles with different physical-mechanical and geometrical parameters

of the analyzed objects. When breaking into the ground the gravel compress it, and at equal distances larger values of volumetric deformations are achieved in soil with high free porosity.

**Keywords:** mathematical model, subsiding soils, penetration of macadam, cylindrical charge

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук. О.В. Солюдяніним. Дата надходження рукопису 15.03.11

УДК 622.284.6

Р.Н. Терещук, канд. техн. наук, доц.,  
С.Н. Гапеев, канд. техн. наук, доц.

Государственное высшее учебное заведение  
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,  
Украина, e-mail: Tereschuk\_rm@mail.ru

## РАЦИОНАЛЬНЫЙ СПОСОБ КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ

R.N. Tereschuk, Cand. Sci. (Tech.), Associate professor,  
S.N. Gapeyev, Cand. Sci. (Tech.), Associate professor

State Higher Educational Institution “National Mining University”,  
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: Tereschuk\_rm@mail.ru

## RATIONAL WAY OF FASTENING OF DEVELOPMENT WORKINGS WITH ARCH AND ROOF BOLT SUPPORT

Выполнен анализ условий эксплуатации подготовительных выработок и характера работы крепи в различных горно-геологических условиях. Приведены результаты моделирования подготовительных выработок, закрепленных рамно-анкерной крепью, с использованием метода конечных элементов. Определены рациональные параметры рамно-анкерной крепи выработок, как вне зоны, так и в зоне влияния лавы для поддержания их в устойчивом состоянии. Рекомендован паспорт крепления подготовительных выработок для горно-геологических условий шахты „Комсомолец Донбасса“.

**Ключевые слова:** подготовительная выработка, метод конечных элементов, рамно-анкерная крепь

**Введение.** Проектирование горных выработок, состоящее в установлении формы поперечного сечения, размеров, выборе крепи соответствующей несущей способности и оснастки, основывается на данных геологических изысканий, объем которых, как правило, всегда ограничен. Несовершенство расчетных методов и недостаток исходных данных компенсируется введением в расчеты различного рода поправочных коэффициентов. Считается, что проектируемая таким образом выработка обеспечит безремонтное ее поддержание. Однако, породная среда, даже состоящая из одной литологической разности, существенно неоднородна в пространстве, неравномерно обводнена, содержит системы трещин, слабые контакты и прочие ослабляющие дефекты. С ростом глубины разработок все отчетливее проявляется тенденция горных пород к неравномерному выдавливанию со стороны почвы выработок. Мероприятия, направленные на предотвращение этого процесса, начинают выполняться, как правило, еще на стадии строительства горных предприятий.

Таким образом, влияние случайных факторов приводит к тому, что в процессе эксплуатации (а не-

редко и в период строительства) выработку для обеспечения ее устойчивости приходится ремонтировать, что существенно увеличивает ее стоимость.

Устойчивость горных выработок в условиях большого числа взаимовлияющих случайных факторов на стадии проектирования может быть обеспечена двумя путями:

1) установкой в выработке крепи с такой высокой несущей способностью, в конструкции которой учтены самые неблагоприятные условия ее нагружения горным давлением, с одновременным выполнением мероприятий, направленных на упрочнение или разгрузку приконтурного породного массива;

2) установкой менее дорогой крепи с более низкой несущей способностью с тем, чтобы, впоследствии, отдельные участки выработки, потерявшие устойчивость, подвергались ремонту и усилению.

Оптимальным образом будет спроектирована та выработка, затраты на сооружение и поддержание которой будут минимальны. Этого можно достичь двумя путями:

- снижением капитальных затрат;
- снижением эксплуатационных затрат.

Первая позиция может быть снижена за счет снижения ресурсоемкости основной крепи, однако, при недостаточном обосновании такое решение может привести к значительному росту второй составляющей – эксплуатационных затрат. Снижение же второй позиции возможно в случае, если эффективность мероприятий по обеспечению устойчивости выработки обеспечивается на высоком уровне. Это возможно как за счет применения наиболее эффективных в данных условиях видов крепи, так и за счет применения дополнительных мероприятий по охране выработки, что, в свою очередь, приводит к увеличению капитальных затрат.

Одним из путей решения этих задач является селективный подход к креплению выработки, основанный на следующем факте, вытекающем из производственного опыта применения крепи в сложных условиях на многих шахтах – зачастую в одной и той же выработке крепь, эффективная на одном ее участке, оказывается совершенно неэффективной на другом.

Подход заключается в прогнозировании состояния породного массива с выработкой вдоль ее трассы и креплению ее такими видами крепи, которые являются наиболее подходящими для данного конкретного участка выработки.

**Цель работы.** Определить параметры рамно-анкерной крепи в подготовительных выработках как вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ для условий шахты „Комсомолец Донбасса“ с целью повышения их устойчивости.

**Основной материал исследований.** В качестве объектов исследований были выбраны выработки по пласту  $l_4$ , поскольку этот пласт является основным продуктивным пластом, разрабатываемым шахтой „Комсомолец Донбасса“ – по сведениям геологической службы шахты доля пласта в общей добыче составляет 55,2%.

Пласт  $l_4$  – преимущественно простого строения, мощностью 0,95...1,10 м, среднесернистый, угол падения 3...8°, гипсометрия волнистая. Преобладает мелко пликвативная и тектоническая нарушенность пласта с  $m = 0,1...0,5$  м, дизъюнктивного характера с элементами залегания смесителей. Контакты угля с кровлей и почвой волнистые, извилистые, четкие.

Непосредственная кровля – глинистый сланец, структура тонкозернистая, текстура полосатая, слоистая, крепость  $f = 4$ , мощность слоя 9,5...13,4 м, трещиноватость 5...10 тр.п.м. Кливаж имеет азимут падения 50...58°.

Основная кровля пласта песчано-глинистый сланец с крепостью  $f = 3...6$ , неустойчивый, мощностью 9...17 м, местами происходит обрушение пород.

Почва пласта представлена глинистым и песчано-глинистым сланцем крепостью  $f = 4...6$ , мощностью до 7 м, ниже расположен песчаник  $f = 8$ , мощностью до 10 м.

Из более, чем 20 км протяженных вскрывающих и подготавливающих выработок, поддерживаемых на шахте „Комсомолец Донбасса“, большая часть выработка относится к подготовительным, обеспечивающим фронт очистных работ, поэтому в качестве типичного объекта принят конвейерный штрек 5-ой восточной ла-

вы блока 2, длиной 1840 м. Данный штрек также интересен тем, что в качестве крепи здесь на разных участках применена рамная и рамно-анкерная крепь.

Удобным является также и тот факт, что исходными данными для анализа состояния выработки и пород вдоль ее трассы являлись как достоверные сведения о геологии пород, собранные геологической службой шахты в период проведения выработки, так и данные наблюдений за состоянием крепи и выработки в целом после ввода ее в эксплуатацию. Это дало возможность связать горно-геологические условия на разных участках выработки с состоянием крепи.

Таким образом, выполненный анализ условий эксплуатации выработки и характера работы крепи на различных ее участках показал, что каждый из выделенных участков выработки характерен специфическими условиями работы крепи и поддержания выработки. Причем, установленная крепь не всегда является наилучшей для того участка, на котором она установлена. То есть, выполнив прогноз устойчивости выработки, можно более обоснованно подходить к выбору крепи и осуществлять указанное выше селективное крепление.

Для создания эффективных способов поддержания и охраны подготовительных выработок должны быть установлены закономерности геомеханических процессов, протекающих в окрестности рассматриваемых выработок.

Решение задачи о напряженно-деформированном состоянии (НДС) породного массива в окрестности подготовительной выработки может быть получено путем применения методов механики сплошной среды, механики дискретной среды, на основе экспериментально-аналитических методов, использующих закономерности, полученные экспериментальным путем в сочетании с аналитическими решениями. Выбор расчетного метода определяется принятой гипотезой горного давления и соответствующей моделью среды.

Математическая модель деформирования породной среды в окрестности местных нарушений сплошности, в том числе в окрестности выработки, должна отображать основные явления, возникающие вследствие концентрации напряжений и возможного сопутствующего изменения физико-механических свойств окружающего материала.

Получение замкнутых математических решений для такого сложного объекта, каким является подготовительная выработка, находящаяся в породном массиве с неоднородной структурой, невозможно в принципе. Единственный путь, ведущий к эффективному решению поставленной задачи, заключается в разработке и исследовании компьютерных моделей на основе какого-либо хорошо разработанного численного метода.

Анализ применяемых методов исследования НДС горного массива позволяет сделать вывод о целесообразности применения для расчета напряженно-деформированного состояния массива в окрестности подготовительной выработки, сопряженной с лавой, метода конечных элементов [1, 2].

Для горно-геологических условий пласта  $l_4$  шахты „Комсомолец Донбасса“ методом конечных элементов моделировалась подготовительная выработка площадью сечения  $13,8 \text{ м}^2$  в свету с линейными размерами: ширина – 5 м, высота – 3,5 м, расположенная на глубине 600 м, что соответствует горному давлению 17,9 МПа. Размеры выработки соответствуют типичным штрекам, которые эксплуатируются в условиях шахты „Комсомолец Донбасса“. Математическая модель взаимодействия рамно-анкерной крепи с приконтурным массивом горных пород была реализована путем решения упругопластической задачи в плоской деформированной постановке.

Для исследований были рассмотрены 8 характерных ситуаций размещения выработки вне зоны влияния лавы и 9 основных ситуаций размещения выработки в зоне влияния лавы:

1. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью.

2-8. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью + (1...7 анкеров), установленной в кровле (рис. 1).

9. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью, при проходе лавы.

10–16. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью + (1...7 анкеров), установленной в кровле, при проходе лавы (рис. 2).

17. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью + шесть анкеров, установленных в кровле, и один анкер со стороны очистной выработки, при проходе лавы.

При моделировании выше описанных ситуаций, варьировались длина анкеров от 2,5 м до 3,5 м, места установки и углы наклона анкеров.

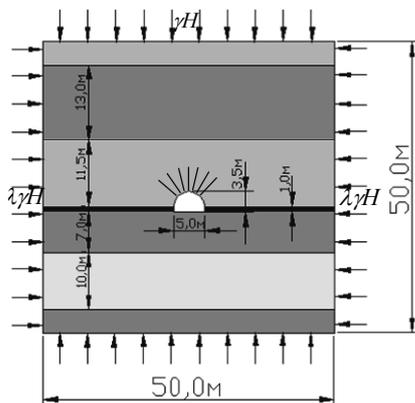


Рис. 1. Расчетная схема при решении задачи для выработки, закрепленной рамно-анкерной крепью (7 анкеров):  $\gamma$  – средний объемный вес пород,  $H$  – глубина заложения выработки,  $\lambda$  – коэффициент бокового распора

Получены картины полных перемещений вокруг подготовительных выработок, расположенных как в зоне (рис. 3), так и вне зоны (рис. 4) влияния очистных работ, на основе которых выполнялась оценка эффективности применения предложенных в работе мероприятий по поддержанию выработок.

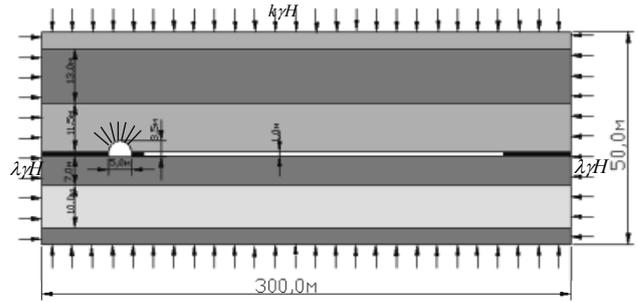


Рис. 2. Расчетная схема при решении задачи для выработки, закрепленной рамно-анкерной крепью (7 анкеров), условные обозначения см. рис. 1,  $k$  – коэффициент пригрузки, учитывающий влияние очистных работ

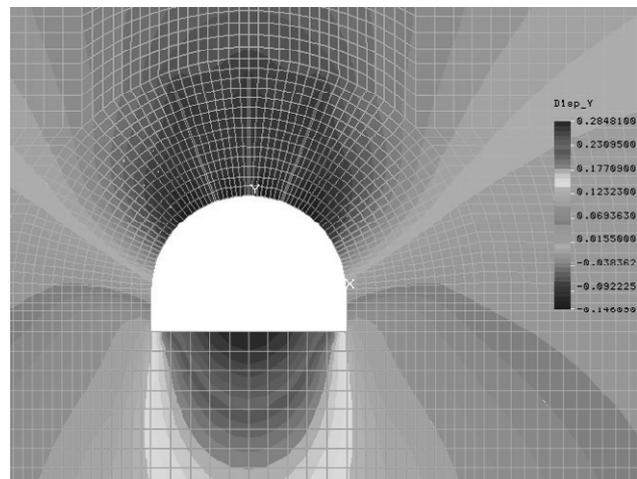


Рис. 3. Картина распределения полных перемещений (ситуация 4), длина анкера 3 м

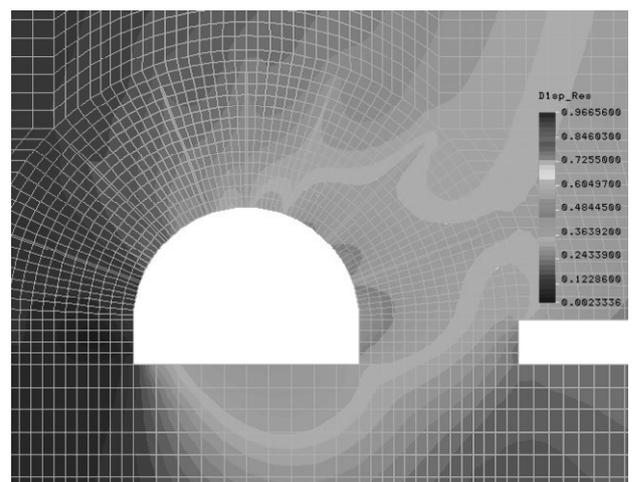


Рис. 4. Картина распределения полных перемещений (ситуация 16), длина анкера 3 м

Анализ результатов моделирования подготовительной выработки вне зоны влияния лавы позволяет

сделать вывод о том, что рациональные параметры рамно-анкерной крепи в данных условиях: арочная крепь с шагом установки 1,2 м + анкерная крепь, установленная между рамами, плотность – 0,7...1,0 анк./м<sup>2</sup> и длиной 2,5...3 м.

Анализ результатов моделирования подготовительной выработки в зоне влияния очистных работ позволяет сделать вывод о том, что рациональные параметры рамно-анкерной крепи для поддержания подготовительной выработки для повторного ее использования: арочная крепь с шагом установки 1 м + анкерная крепь, установленная между рамами, плот-

ностью – 0,9...1,1 анк./м<sup>2</sup> и длиной 2,5...3 м + 1 анкер длиной 2,5...3 м со стороны лавы на высоте 2 м под углом 25°.

Поскольку идет речь о подготовительных выработках, в последствии испытывающих интенсивное влияние очистных работ, в качестве рационального способа крепления выработок может быть рекомендован способ совместной установки анкерных систем с параметрами, указанными выше, и штатной рамной крепи (рис. 5). Параметры установки арочной крепи должны выбираться в зависимости от местной горно-геологической ситуации.

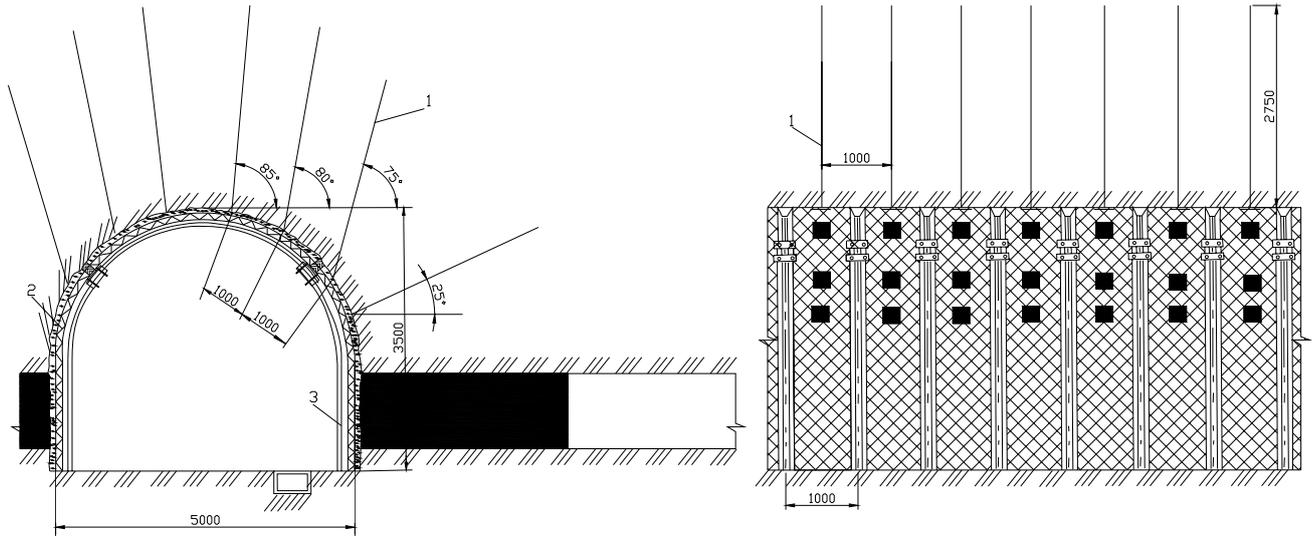


Рис. 5. Рекомендуемый паспорт крепления подготовительной выработки для горно-геологических условий шахты „Комсомолец Донбасса“:  
1 – сталеполимерный анкер, 2 – сетчатая затяжка, 3 – штатная арочная крепь

На участках с благоприятной ситуацией (незначительная нарушенность, отсутствие геологических особенностей строения угленосной толщи) рациональным является установка рам арочной крепи с шагом, предусмотренным штатными типовыми паспортами крепления выработок данного назначения по данному пласту. При этом параметры установки анкеров соответствуют рекомендуемым – плотность 0,8 анк./м<sup>2</sup> и длина 2,5 м.

На участках с неблагоприятной ситуацией, к которым относятся участки с повышенной трещиноватостью массива, участки мелкоамплитудных геологических нарушений, снижающие устойчивость массива, и иные участки трассы выработки, на которых наблюдается по факту или ожидается в соответствии с геологическим прогнозом снижение устойчивости пород, плотность установки анкеров может быть повышена до 1,1 анк./м<sup>2</sup>, длина – до 3,0 м. При этом шаг установки рам арочной крепи либо остается прежним (при сравнительно небольшом снижении устойчивости массива), либо также уменьшается на величину, предусмотренную типовыми паспортами крепления, используемыми в настоящее время на шахте.

Локальные участки выработки, на которых ожидается либо наблюдается значительное снижение устойчивости породного массива (до уровня III и IV категории устойчивости по СНиП II-94-80 „Подземные горные выработки“), в особенности на участках с вертикально или почти вертикально ориентированными трещинами, допустимо и необходимо крепить только рамной крепью без применения систем анкерного крепления, малоэффективных в таких условиях. Параметры установки рам при этом должны соответствовать рекомендациям соответствующих нормативных документов по проектированию крепи в сложных условиях и типовым паспортам по установке арочной металлической крепи в сложных условиях из числа тех, что уже применялись на данном пласте на шахте „Комсомолец Донбасса“.

**Выводы.** Таким образом, предложен рекомендованный паспорт крепления рамно-анкерной крепью подготовительной выработки для конкретных горно-геологических условий на основе результатов натурных наблюдений и математического моделирования с параметрами: арочная крепь с шагом установки 1 м + анкерная крепь, установленная между рамами, плотностью – 0,9...1,1 анк./м<sup>2</sup> и длиной 2,5...3 м + 1 анкер

длиной 2,5...3 м со стороны лавы на высоте 2 м под углом 25°. При этом следует иметь в виду, что все паспорта на крепление, как с применением анкерных систем, так и без них, должны разрабатываться, согласовываться и утверждаться в установленном порядке.

**Список литературы / References**

1. Амусин Б.З. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики / Б.З. Амусин, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1975. – 144 с.  
*Amusin B.Z. Finite elements method in solution of problems of mining geomechanics / B.Z. Amusin, A.B. Fadeyev. – M.: Nedra, 1975. – 144 p.*
2. Ержанов Ж.С. Метод конечных элементов в задачах механики горных пород / Ж.С. Ержанов, Т.Д. Каримбаев. – Алма-Ата.: Наука, 1975. – 238 с.  
*Yerzhanov Zh.S. Finite elements method in problems of rock mechanics / Zh.S. Yerzhanov, T.D. Karimbayev – Alma-Ata: Nauka, 1975. – 238 p.*

Виконано аналіз умов експлуатації підготовчих виробок та характер роботи кріплення в різних гірничо-геологічних умовах. Наведено результати моделювання підготовчих виробок, які закріплені рамно-анкерним кріпленням, з використанням методу

скінченних елементів. Визначено раціональні параметри рамно-анкерного кріплення виробки, як поза зоною, так і в зоні впливу лави для підтримки їх у стійкому стані. Рекомендовано паспорт кріплення підготовчих виробок для гірничо-геологічних умов шахти „Комсомолец Донбасу“.

**Ключові слова:** *підготовча виробка, метод скінченних елементів, рамно-анкерне кріплення*

The analysis of the operating conditions of development workings and behavior of the support in different geological conditions is done. Simulation results of preparatory workings fixed with arch and roof bolt support, using the finite element method are shown. The rational parameters of arch and roof bolt support of workings, both outside and in the zone of drift for maintaining their stable state are defined. Passport of fastening of development workings for geological and mining conditions of the mine “Komsomolets Donbassa” is recommended.

**Keywords:** *development working, finite element method, arch and roof bolt support*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук А.М. Роєнком. Дата надходження рукопису 25.03.11.*

УДК 622.333.013.3

Д.М. Логунов

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: lajana@inbox.ru

**К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УКРАИНЕ. ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ**

D.M. Logunov

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: lajana@inbox.ru

**ON THE ISSUE OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES USE IN UKRAINE. GEOTHERMAL ENERGY**

Приведен исторический экскурс по направлениям использования геотермальной энергии. Описаны системы извлечения теплоты, разрабатываемые в странах СНГ. Рассмотрен опыт ведущих европейских стран по переработке геотермальной энергии. Проведен анализ результатов внедрения проектов, связанных с утилизацией тепла, реализуемых в настоящее время в Украине, с учетом действующей законодательной базы и существующих реалий украинской действительности. Показано, что разработки ученых стран СНГ, при поддержке со стороны государства, позволяют в будущем перейти на принципиально новый уровень в использовании нетрадиционных источников энергии.

**Ключевые слова:** *альтернативные источники энергии, альтернативная энергетика, геотермальная энергия, тепловой насос, „зеленая энергия“, налог на использование природных ресурсов*

**Введение.** В настоящее время основными энергетическими ресурсами являются уголь, нефть и природный газ, запасы которых хотя и огромны, но из-за интенсивной добычи заметно истощаются. Ограниченность топливных природных ресурсов со всё нарастающей остротой показывает необходимость пе-

рехода к так называемым альтернативным, или возобновляемым, источникам энергии. К сожалению, их стоимость слишком высока, а некоторые не могут генерировать энергию непрерывно, поэтому солнечная и ветровая энергии служат дополнением к традиционным способам ее получения [1]. Рост ВВП на душу населения в мире неизбежно начнет снижаться, как только ископаемое топливо будет исчерпано. Последние события, связанные со скачками цен на